

ОЦІНКА МОДИФІКОВАНОГО ГРУНТОВОГО МАСИВУ НА ОСНОВІ ШЛАКУ ТА ВАПНА ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ТЕХНОЛОГІЇ ДВОФАЗНОГО ЗМІШУВАННЯ

Наведені результати випробувань для нового матеріалу, який був створений в лабораторних умовах. Композит отримав нові властивості, що дозволяє застосовувати його в основах підземних споруд.

Приведены результаты исследований для нового материала, который был создан в лабораторных условиях. Композит получил новые свойства, что позволяет применять его в основании подземного сооружения.

The research results are presented for the new material, which was created in the laboratory. The material has received the new properties that can be used in the base of the underground construction.

Вступ. Боротьба зі слабкими ґрунтами в основі підземної споруди на даний момент має велике значення, так як все частіше під забудову освоюються території з несприятливими гідро-геологічними умовами, на яких планується зводити об'єкти зі значними статичними і динамічними навантаженнями, що обумовлює актуальність досліджень в області стабілізації ґрунтових масивів. Насичені водою слабкі глинисті ґрунти неможливо закріпити існуючими методами (цементация, бітумізація, полімеризация), тому необхідно створювати нові ефективні методи закріплення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Метод глибинного змішування почав застосовуватись і досліджуватись в Індії та Японії з 1975 р. [1, 2, 3]. Основні роботи в цьому напрямку виконувалися зарубіжними вченими. Всі дослідження були спрямовані на вивчення закріплених ґрунтів стандартними цементними в'язучими [4, 5, 6]. Та мало приділялося уваги вивченню багатокомпонентного закріплення слабких ґрунтових масивів в декілька технологічних фаз. Спроби вивчення впливу різних хімічних речовин та властивостей слабких перенасичених ґрунтів виявлені в роботах [7, 8, 9].

Формування цілі роботи. Проаналізувати механізм формування ґрунтового композиту за допомогою технології глибинного змішування ґрунту з доменним шлаком, або вапном в комплексі з цементом. Розробити теоретичні передумови, спрямовані на регулювання параметрів закріпленого ґрунтового масиву. Визначити ефективність застосування запропонованого методу закріплення.

Викладення основного матеріалу. В рамках даних дослідів, на першому етапі були виконані випробування двох видів сумішей: текучого суглинку зі шлаком (склад наведено в таблиці 1) при додаванні активатора у вигляді гіпсу $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ та різному співвідношенні доданого шлаку, та суміші текучого суглинку з негашеним вапном. На другому етапі в стабілізований ґрунт додавався портландцемент та через 28 діб виконувались дослідження отриманого ґрунтового композиту. Шлак та вапно застосовувались у вигляді молотого порошку з питомою поверхнею $S=300-350 \text{ м}^2/\text{кг}$. Активатор $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ додавався в кількості 2% від маси при застосуванні шлаку.

Досліди виконувались для визначення впливу кількості доданого в'язучого на першому та другому етапах на міцнісні характеристики зразків, а також виявлення різниці між зразками, виконаних в лабораторних та польових умовах, за допомогою спеціальної будівельної техніки, для визначення коригуючих параметрів.

Таблиця 1.

Оксид	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	CaO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO
Відсоткове співвідношення	1%	9%	18%	1%	45%	5%	-	11%

Таблиця 2.

Намивний пісок дрібний, маловологий	
Природна вологість, W	0,1-0,36
Питома вага γ_s , кН/м ³	17
Питома вага сухого ґрунту γ_d , кН/м ³	15,5
Коефіцієнт пористості e	0,64
Модуль деформації E, МПа	20
Кут внутрішнього тертя ϕ , °	32
Питоме зчеплення C, кПа	2
Суглинок текучо-пластичний, водонасичений	
Природна вологість, W	0,31
Вологість на границі текучості, W _L	0,34
Вологість на границі розкатування, W _p	0,20
Число пластичності I _p	0,15
Показник текучості I _L	0,8
Питома вага γ_s , кН/м ³	18,2
Питома вага сухого ґрунту γ_d , кН/м ³	14,1
Коефіцієнт пористості e	0,86
Ступінь вологості S _r	0,96-1,0
Відносний вміст органічних речовин	0,04
Модуль деформації E, МПа	4
Кут внутрішнього тертя ϕ , °	13
Питоме зчеплення C, кПа	18
Пісок дрібний, водонасичений	
Природна вологість, W	0,134
Питома вага γ_s , кН/м ³	17,5
Питома вага сухого ґрунту γ_d , кН/м ³	15,8
Коефіцієнт пористості e	0,54
Ступінь вологості S _r	1,0
Модуль деформації E, МПа	20
Кут внутрішнього тертя ϕ , °	32
Питоме зчеплення C, кПа	2

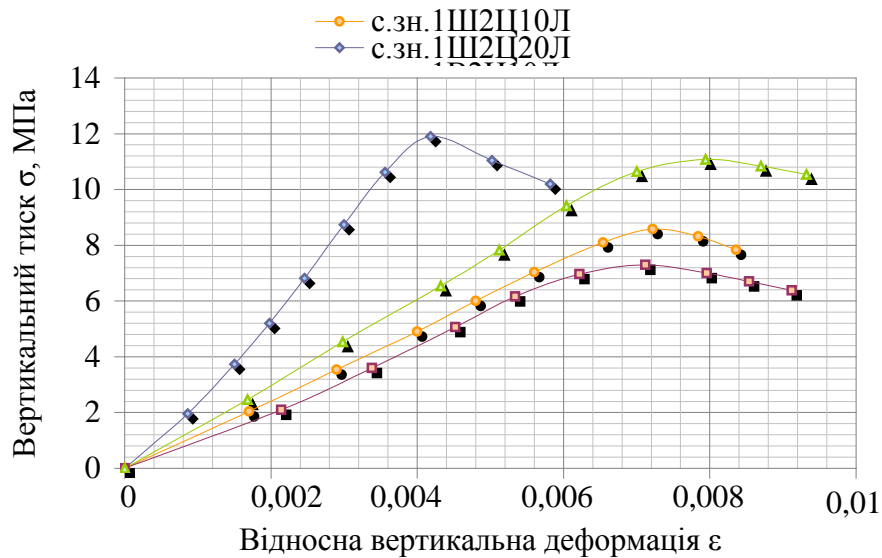


Рис. 1. Результати випробувань закріпленого ґрунтового матеріалу після двох фаз змішування в лабораторних умовах

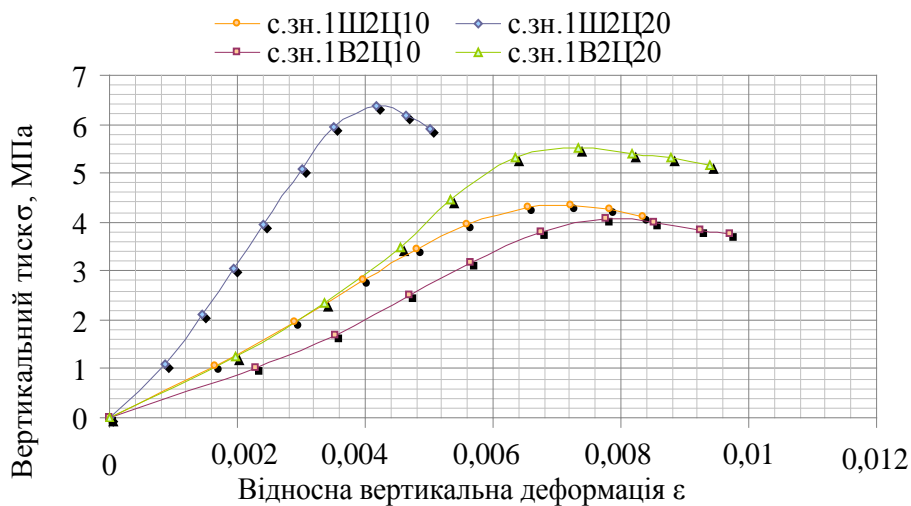


Рис. 2. Результати випробувань закріпленого ґрунтового матеріалу після двох фаз змішування в польових умовах

Випробування ґрунтового матеріалу виконувались з використанням пристроїв на одновісне стискання та одноплосинний зріз. Використання декілька пристроїв дозволило провести комплекс випробувань при різних видах напружено-деформованих станів та траєкторіях навантаження.

Для даних експериментів були виконані декілька колон діаметром 650 мм і глибиною до 17 м в ґрунтовому масиві на дослідній ділянці будівельного майданчику. Для виконання колон закріпленого ґрунту використовувався буровий станок з гідравлічним приводом, зі спеціальним обладнанням для глибокого змішування. Детально характеристики ґрунтів дослідної ділянки представлені в таблиці 2.

В результаті досліджень отримали матеріал з якісно новими показниками міцності в порівнянні з характеристиками ґрунту в початковому стані. Всі показники міцності на декілька порядків вище початкових. Були виконані

порівняльні графіки для даного матеріалу при різних компонентах стабілізатора а також умов виготовлення.

З рис. 1 видно що зразки, для закріплення яких застосовувався шлак та цемент (1Ш2Ц10Л та 1Ш2Ц20Л) мають більшу міцність на стискання та відповідно модулі пружності та модулі зсуву ніж зразки, в закріпленні яких застосовувалось вапно (1В2Ц10Л та 1В2Ц20Л). Аналогічна тенденція спостерігається зі зразками, що виконані в польових умовах (рис. 2). Зразки для закріплення яких застосовувався шлак мають більш високі показники міцності ніж зразки з вмістом вапна. Це можна пояснити тим, що гідравлічно активний шлак має властивості більш схожі з цементом, тому матеріал в результаті стає більш жорсткішим. Але, при цьому, матеріал, для створення якого застосовувалось вапно, має більшу піддатливість що також не погано при впливі динамічних навантажень. Окрім цього збільшення вмісту цементу в другій фазі з 10% до 20% значно збільшує показники міцності не залежно від стабілізатора, що застосовувався на першій фазі.

Треба відмітити той факт, що щільність отриманого композиту, для усіх видів сумішей, знаходиться в межах 16,7-18,9 кН/м³, що вказує на той факт, що незакріплений ґрунт ущільнюється за рахунок введення додаткового об'єму речовин в загальній кількості 40% від об'єму закріпленого ґрунту. Модуль деформації для ґрунтового матеріалу становить близько 1860 МПа.

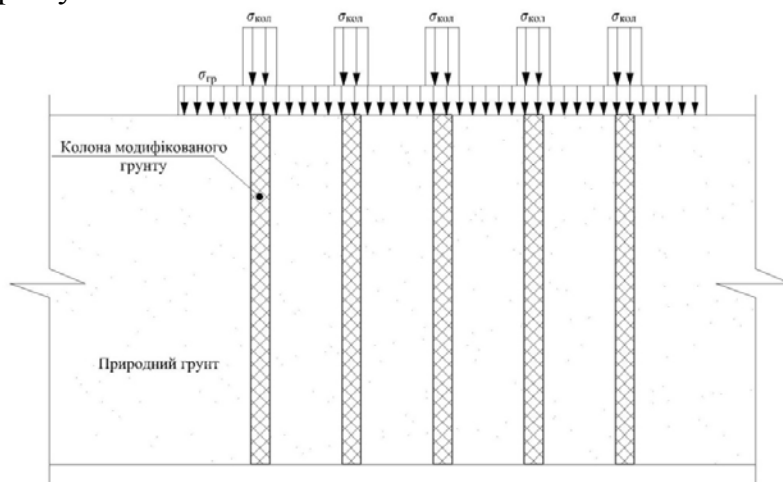


Рис. 3. Розрахункова схема геомасиву, що закріплений колонами модифікованого ґрунту

Незакріплений ґрунт може сприймати навантаження значно менші ніж колони з ґрунтового композиту. На рис. 3 представлена розрахункова схема масиву, закріпленого колонами модифікованого ґрунту. Схема показує, як в реальних умовах буде розподілене навантаження на геомасив.

Нами були проведені розрахунки дослідної ділянки в програмному комплексі Plaxis. Спочатку провели розрахунки ділянки без закріплення, для визначення основних показників геомасиву під статичним навантаженням 250кН/м² в комплексі з динамічним навантаженням з амплітудою 30кН/м² і частотою 60 Гц, що відповідають навантаженню на фундамент підземної транспортної споруди.

Для розрахунку прийняли $d_{\text{кол}}=1$ м, крок колон $L_c=2$ м, ширина умовної фундаментної плити $B=10$ м, товщина 0,5 м.

Армування масиву колонами модифікованого ґрунтового матеріалу дозволяють знизити вплив статичних і динамічних навантажень до мінімуму.

У випадку армованого масиву геотехнічна система працює якісно по іншому. При дії навантажень на незакріплений масив основні вертикальні переміщення відбуваються в найближчих шарах ґрунтів і сумарно становлять в нашому випадку 90 мм. А при створенні в масиві армуючих колон, за допомогою технології глибинного змішування, в переміщенні приймають участь всі шари через які проходять колони та, в комплексі з покращеними міцнісними характеристиками ґрунтового матеріалу колон, в геотехнічній системі відбуваються мінімальні сумарні переміщення, що становлять 4,8 мм.

У випадку з незакріпленим масивом виникають великі горизонтальні деформації, що свідчить про зсувні процеси в товщі слабких ґрунтів, що неприпустимо для підземних будівельних об'єктів (загальні горизонтальні переміщення становлять близько 50 мм). Але при застосуванні закріплення масиву колонами з ґрунтового матеріалу, горизонтальні переміщення зменшуються в багато раз та мають розподілений характер, в такому випадку сумарні горизонтальні деформації становлять 1,2 мм.

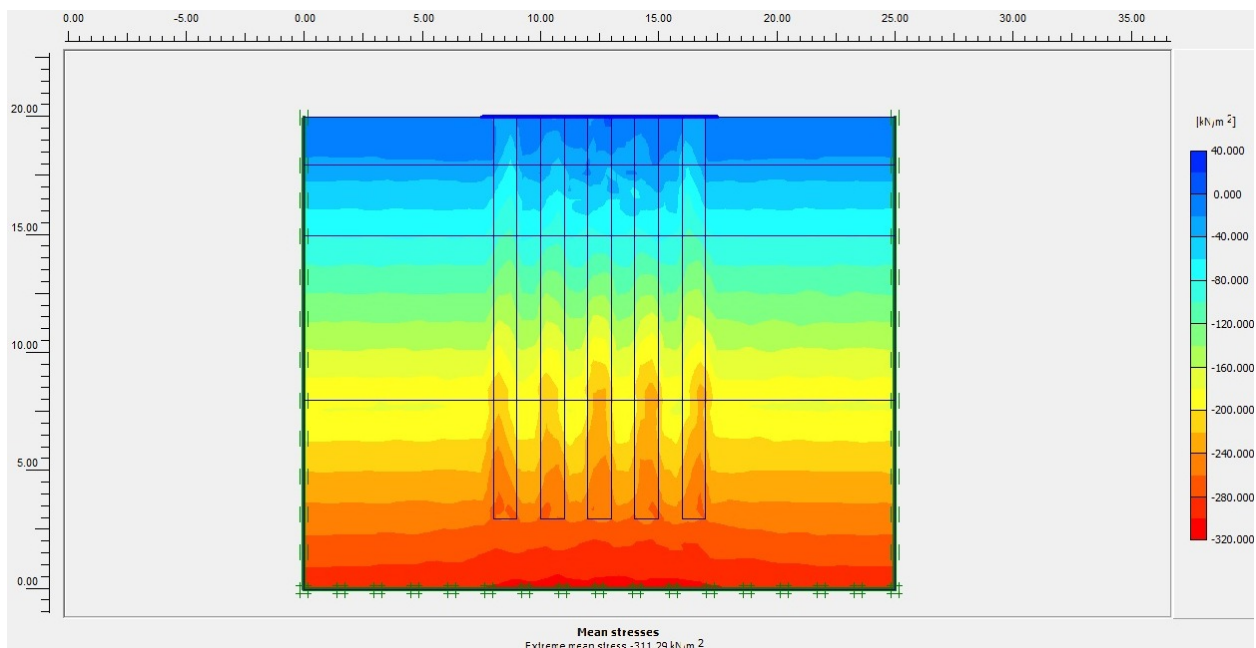


Рис. 4. Сумарні напруження в масиві без закріплення та з закріпленням

По рис. 4 можна спостерігати, яким чином перерозподіляються напруження в закріпленому геомасиві, видно що колони сприймають більші напруження ніж оточуючий ґрунт, що дозволяє зняти частину напруження з оточуючих слабких ґрунтів.

Висновки. З дослідів стало зрозуміло, що даний спосіб модифікації ґрунтового масиву є дуже ефективним, а зважаючи на економічну складову більш прийнятним ніж класичний спосіб будівництва на пальових фундаментах так як економічний ефект при використанні модифікації ґрунтового масиву шлаком та вапном є дуже значним.

Отже економічна ефективність використання технології глибинного змішування за двофазною схемою становить близько 30%.

Це означає, якщо для нашого транспортного тунелю необхідно влаштувати 5 паль (колон) на 1 п.м. то економічна ефективність на 1 п.м. при

використанні двофазної технології глибинного змішування буде становити 33350 грн (На 2013 рік) Що є суттєвим показником, якщо враховувати можливі обсяги робіт.

Список літератури

1. Brooms, B.B. and Boman, P. (1975), "Lime stabilized column", Proc. 5th Asian Regional Conf., Bangalore, Indian Institute of Science, Vol. 1, 1975, pp. 227-234.
2. Okumura, T. and Terashi, M. (1975), "Deep lime mixing method of stabilization of marine clays", Proc. 5th Asian Regional Conf., Bangalore, Indian Institute of Science, Vol. 1, 1975, pp. 69-75.
3. Nagaraj, T.S. (1996), "Prediction of strength development by cement admixture based on water content", Proc. 2nd Int. Conf. on Ground Improvement Geo-systems, Grouting and Deep Mixing, Tokyo, Vol. 1, 1996, pp. 431-436.
4. Kamaluddin, M. and Balasubramaniam, A.S. (1995), "Over consolidated behavior of cement treated soft clay", Proc. 10 Asian Regional Conf. of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Thailand, 1995, pp. 407-412.
5. Uddin, K., Balasubramaniam, A.S. and Bergado, D.T. (1997), "Engineering behavior of cement treated Bangkok soft clay", Geotechnical Engineering Journal, Vol. 28, no. 1, pp. 89-119.
6. Yin, J.H. and Lai, C.K. (1998), "Strength and Stiffness of Hong Kong Marine Deposits Mixed with Cement", Geotechnical Engineering Journal, Vol. 29, no. 1, pp. 29-44.
7. Самедов А.М. и др. Взаимосвязь вязкопластического течения масс пород с инфильтрацией водного раствора в процессе закрепления оснований сооружений. /А.М. Самедов, Е.В. Скобленко, Вісник, НТУУ «КПІ», серія «Гірництво», вип. 18, К.: 2009, с.27÷34.
8. Ткач Д.В. Процес формування ґрунтового композиту із насиченого водою глинистого ґрунту на основі шлаку в основі підземної споруди. / Д.В. Ткач, Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Островського», Кременчук, КрНУ, Випуск 6, 2013, с.110÷113.
9. Самедов А.М. Укрепление переувлажненных глинистых грунтов молотой негашеной известью или жженой магнезией. / А.М. Самедов, Д.В. Ткач, Известия Тульского государственного университета «Науки о Земле» выпуск 2, Тула, ТулГУ, 2012, с. 162÷170

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Шашенком О.М.
Надійшла до редакції 16.01.15*